

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 25.05.90.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 29.11.91 Bulletin 91/48.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : DILLESEGER Jean Louis — FR et  
COATRIEUX Jean Louis — FR.

⑦2 Inventeur(s) : DILLESEGER Jean Louis et  
COATRIEUX Jean Louis.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire :

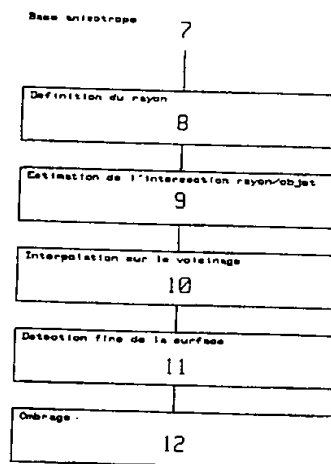
⑤4 Procédé de visualisation tridimensionnelle par lancer de rayons avec interpolation locale.

⑤7 L'invention concerne tous les domaines qui requièrent des moyens de visualisation tridimensionnelle et dans lesquels les bases de données sont décrites à l'acquisition comme un empilement de coupes bidimensionnelles ou directement en 3-D mais avec un échantillonnage anisotrope dans les trois dimensions. Le procédé intéresse donc, entre autres, toutes les sources d'imagerie médicale fournissant ce type de données.

Traditionnellement l'isotropie des bases décrites ci-dessus est rétablie, avant toute manipulation ou visualisation, par interpolation de coupes. Ce procédé présente l'inconvénient d'augmenter le volume des données et donc d'accroître la taille de la mémoire nécessaire sur les systèmes de traitement.

L'invention se caractérise en ce qu'aucune interpolation globale préalable n'est réalisée sur la base de données anisotrope (7) avant la visualisation de celle-ci par lancer de rayons. Pour cela elle suit le processus suivant:

- (8) lancer du rayon dans la base anisotrope,
- (9) estimation de la position du point d'intersection du rayon avec le sujet à visualiser dans la base de données,
- (10) interpolation sur le voisinage de ce point estimé,
- (11) détection fine de la surface dans cette zone interpolée,
- (12) ombrage en fonction des paramètres contenus dans cette zone.



Best Available Copy

FR 2 662 524 - A1



Procédé de visualisation tridimensionnelle par lancer de rayons avec interpolation locale.

5

L'invention concerne tous les domaines qui requièrent des moyens de visualisation tridimensionnelle (3-D) et dans lesquels les bases de données sont décrites à l'acquisition comme un empilement de coupes bidimensionnelles ou directement en 3-D mais avec un échantillonnage anisotrope dans les trois dimensions. Le procédé intéresse donc, entre autres, toutes les sources d'imagerie médicales fournissant ce type de données : Il peut être implanté sur leur informatique hôte mais aussi sur tout ordinateur spécialisé ou d'usage général.

10

15

Les techniques de visualisation tridimensionnelle actuellement peuvent être identifiées par le type de représentation des objets contenus dans la base de données qu'elles adoptent. Il s'agit :

20

- soit de représentations surfaciques (description de la surface de l'objet par des approximations d'ordre 1 ou plus, ou encore par des voxels -volume élémentaire généralement cubique),
- soit de représentations volumiques, qui contrairement aux précédentes conservent l'ensemble des informations présente dans la base de données initiale.

25

Dans chacun de ces grands cadres, de nombreuses méthodes ont été proposées. L'invention concerne la représentation par volume et plus particulièrement les techniques par lancer de rayons (par opposition à des techniques de type projection ou de type codage par arbre octal ou "octree").

30

Les approches basées sur le lancer de rayons sont apparues dans les années 70 en synthèse d'images : la recherche d'effets spéciaux (réflexion multiple, réfraction, ...) a cependant eu comme conséquence de rendre complexes leurs applications. Leur utilisation pour le rendu de volumes ne remonte qu'à trois ou quatre ans. La visualisation de volumes apporte pourtant une simplification majeure, dès lors que des perceptions réalistes des bases de données seront privilégiées par rapport à la recherche d'effets spéciaux. Seuls alors les rayons primaires seront à calculer. Ces techniques sont maintenant parfaitement éprouvées et dans le domaine médical on pourra se référer aux articles

35

40

de Drebin (DREBIN R., CARPENTER L. et HANRAHAN P., Volume rendering, ACM Com. Graph., 12, 4, Août 88, pp 65-74), de Levoy (LEVOY M., Display of surfaces from volume data, Thesis, University of North Carolina at Chapel Hill, 1989), de Robb (ROBB R. and BARRILLOT C., Interactive 3-D display and analysis, SPIE vol 939 Hybrid Image and Signal Processing, 1988, pp 173-202) et Troussset (TROUSSET. Y., Visualisation d'objets médicaux tridimensionnels, Thèse, ENST Paris, sept 1987 et brevet français FR 2.613.509).

10 Tous ces travaux ont apporté des améliorations au schéma de base du lancer de rayons, soit sur le plan de la qualité des représentations, soit en terme de temps de calcul. La méthode, décrite par la suite, a l'avantage de réduire les capacités mémoires requises pour la représentation 3-D et ceci sans limiter les autres fonctionnalités  
15 (transformations géométriques, découpes par des plans quelconques, détection de sous objets, qualités de l'image, ...).

En visualisation d'image 3-D, un compromis doit être trouvé entre trois facteurs principaux :

- (a) la qualité des images et des fonctions offertes à l'utilisateur,
- 20 (b) les temps de réponse du système en sachant que l'interactivité homme-machine (même pour des tailles élevées de bases de données) doit être assurée,
- (c) les coûts des stations d'imagerie.

L'invention proposée permet d'apporter un gain significatif sur  
25 le troisième point (c) en diminuant notamment la taille de la mémoire nécessaires aux systèmes de traitement.

La particularité de la plupart des bases de données 3-D constituées à partir de coupes (ou plans) 2-D est de présenter une  
30 anisotropie axiale. C'est-à-dire que la résolution -l'échantillonnage- dans le plan est meilleure que dans la direction orthogonale.

Tous les travaux, publiés à ce jours, rétablissent avant toute visualisation ou manipulation de la base de données l'isotropie du volume en interpolant entre les coupes. La taille totale de la base de  
35 données est ainsi multipliée par un facteur N, avec  $N \geq 2$ .

Il apparaît avantageux, pour éviter cette augmentation du volume de données, de ne pas pratiquer une interpolation globale préalable et

de visualiser directement le contenu de la base anisotrope. Une seule publication (TROUSSET. Y., Visualisation d'objets médicaux tridimensionnels, Thèse, ENST Paris, sept 1987) propose un schéma permettant de faire l'économie d'une telle augmentation mais en contraignant le problème de telle sorte que la condition (a) n'est plus totalement respectée. Sa méthode de visualisation d'une base de données tridimensionnelle formées de coupes empilées est caractérisé par le fait que son incidence de vision est choisie de manière à ce que l'écran est placé perpendiculairement aux coupes et que les rayons suivent une géométrie parallèle. Ainsi, à chaque ligne de l'écran correspond l'image de la tranche d'une coupe. Après un lancer de rayons sur la base anisotrope, il lui suffit d'interpoler des ligne entre les lignes de l'écran. Cette méthode n'est généralisable ni dans le cas où l'incidence de vision est quelconque, ni dans celui d'une géométrie conique.

La présente invention vise à fournir un procédé de visualisation par lancer de rayons ne nécessitant pas d'interpolation préalable de la base de données et s'affranchissant des restrictions citées préalablement.

C'est-à-dire que :

- la base de données anisotrope initiale reste inchangée,
- seules les parties visibles (surfaces ou volumes internes) à l'observateur et indépendamment du point de vue choisi devront être interpolées lors de la visualisation.

Dans ce but, l'invention propose une méthode caractérisée par une séquence d'opérations à réaliser pour chaque rayon et qui se décompose en différentes phases :

- (1) définition du rayon (trajectoire) dans la base anisotrope,
- (2) estimation de la position du point d'intersection du rayon avec le ou les sujets à visualiser dans la base de données,
- (3) interpolation sur le voisinage de ce point estimé (le choix de l'interpolateur est libre, il faut seulement qu'il soit local),
- (4) recherche sur le rayon dans la zone interpolée du point d'intersection,
- (5) calcul éventuel de la normale,
- (6) spécification de la valeur au plan image (ombrage).

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, d'un mode particulier de mise en oeuvre de l'invention, donné à titre d'exemple non limitatif. Cet exemple reprend les principes de base du lancer de rayons et définit les notations indispensables. Dans un but de simplification, l'exemple est décrit en géométrie parallèle. Son principe s'étend cependant aux projections perspectives.

La description se réfère aux schémas qui l'accompagnent dans lesquels :

- 10 - la figure 1 est un schéma qui présente les deux repères (écran et objets) et les relations géométriques entre eux,
- la figure 2 est un schéma qui représente le lancer de rayons en géométrie parallèle,
- la figure 3 est un graphe destiné à illustrer la suite d'opérations du lancer de rayons avec interpolation locale,
- 15 - la figure 4 est un schéma qui pose le problème de l'intersection entre le rayon et l'objet décrit dans la base de données,
- la figure 5 est un schéma qui illustre une des méthodes d'estimation approchée de la position de l'intersection rayon/objet,
- 20 - la figure 6 est un schéma qui illustre une deuxième méthode d'estimation approchée de cette position,
- la figure 7 présente des histogrammes permettant l'évaluation des méthodes proposées.

25

Un rayon dans une base isotrope est défini de la manière suivante :

La scène 3-D possède son propre repère (1) (voir figure 1) appelé repère objet  $R_{ob}$ . Celui-ci dépend de la disposition des coupes tomographiques. Traditionnellement ces dernières sont considérées parallèles au plan  $(x_{ob}, y_{ob})$  et empilées selon l'axe  $z_{ob}$ .

L'autre système de coordonnées (2) -le repère écran ou repère image  $R_{ec}$ - est lié à la visualisation. L'écran représente le plan  $(x_{ec}, y_{ec})$ . La scène est placée du côté des  $z_{ec}$  positifs.

35 Ces deux repères sont liés par des relations de rotation et de translation. Ces relations dépendent des paramètres de vision. La direction de l'observation est définie par ses coordonnées sphériques

dans le repère objet (1) qui forment une matrice de rotation [R] entre les deux repères. Les origines des repères sont liées par un vecteur  $\vec{T}$  de translation.

5 Lors du lancer d'un rayon, la position relative d'un point de ce dernier par rapport à l'objet doit être connue en permanence. Ceci impose constamment de passer d'un repère à l'autre. Toutefois, pour visualiser une base de données formée de voxels, il est plus efficace de tourner l'écran autour de l'objet que de tourner l'objet lui-même. Ce sont donc les transformations écran/objet qui interviendront le  
10 plus souvent.

Ceci revient à appliquer la formule suivante :

$$[x_{ob}, y_{ob}, z_{ob}] = [R] \cdot [x_{ec}, y_{ec}, z_{ec}] + \vec{T}$$

15 Le principe du lancer de rayons est le suivant (voir figure 2). A partir du point de départ (3)  $P_0(x_0, y_0, z_0)$ , le rayon (4) est parcouru de l'écran (5) vers la scène (6). A chaque incrément, une transformation de repère écran/objet est effectuée. Sur le résultat de celle-ci -c'est-à-dire les coordonnées de la position du rayon dans le repère objet- sont vérifiées les conditions d'intersection (par une fonction  
20 que nous appellerons `CONDITION_D_INTERSECTION`). Ces dernières peuvent être fondées sur la densité, le gradient local ou bien d'autres attributs du voxel. Une fois l'intersection constatée, la couleur du pixel  $(x_0, y_0)$  est calculée.

25 Le rayon est une droite dans le repère écran. Les paramètres de ce rayon sont :

- son point de départ  $P_0(x_0, y_0, z_0)$ ,
- son vecteur directeur  $\vec{d} [d_x, d_y, d_z]$ ,
- une variable  $t$  représentant la position le long du rayon.

Son équation s'écrit :

$$30 \quad \begin{cases} x(t) = x_0 + d_x \cdot t \\ y(t) = y_0 + d_y \cdot t \\ z(t) = z_0 + d_z \cdot t \end{cases}$$

Si les rayons sont parallèles entre eux et à l'axe  $z_{ec}$

35  $\vec{d}$  vaut  $[0, 0, 1]$ .

L'équation du rayon se ramène à :

$$\begin{cases} x(t) = x_0 \\ y(t) = y_0 \\ z(t) = z_0 + t \end{cases}$$

c'est à dire :  $[x_{ec}(t), y_{ec}(t), z_{ec}(t)] = [x_0, y_0, z_0 + t]$

5 où  $x_0$  et  $y_0$  sont les coordonnées du pixel de départ,.

Les coordonnées du rayon dans le repère objet, pour un  $t$  donné, sont :

$$\begin{aligned} [x_{ob}(t), y_{ob}(t), z_{ob}(t)] &= [R] \cdot [x_{ec}(t), y_{ec}(t), z_{ec}(t)] + \vec{T} \\ &= [R] \cdot [x_0, y_0, z_0 + t] + \vec{T} \end{aligned}$$

10

Cette opération se décompose en trois termes :

$$\begin{cases} x_{ob}(t) = x_0 \cdot r_{11} + y_0 \cdot r_{21} + (z_0 + t) \cdot r_{31} + t_x \\ y_{ob}(t) = x_0 \cdot r_{12} + y_0 \cdot r_{22} + (z_0 + t) \cdot r_{32} + t_y \\ z_{ob}(t) = x_0 \cdot r_{13} + y_0 \cdot r_{23} + (z_0 + t) \cdot r_{33} + t_z \end{cases}$$

15 avec  $r_{ij}$  les composante de la matrice  $[R]$  et  $t_i$  les valeurs du vecteur  $\vec{T}$ .

20 La transformation des coordonnées à chaque pas du rayon ralenti le processus. Nous incrémenterons donc directement le rayon dans le repère objet.

Cet incrément vaut :

$$\begin{cases} x_{ob}(t_i) - x_{ob}(t_{i-1}) = (t_i - t_{i-1}) \cdot r_{31} \\ y_{ob}(t_i) - y_{ob}(t_{i-1}) = (t_i - t_{i-1}) \cdot r_{32} \\ z_{ob}(t_i) - z_{ob}(t_{i-1}) = (t_i - t_{i-1}) \cdot r_{33} \end{cases}$$

25

Si nous considérons  $\Delta t = t_i - t_{i-1}$  (pas du rayon), alors nous avons:

$$\begin{aligned} [x_{ob}(t_i), y_{ob}(t_i), z_{ob}(t_i)] &= [x_{ob}(t_{i-1}), y_{ob}(t_{i-1}), z_{ob}(t_{i-1})] \\ &\quad + [r_{31}, r_{32}, r_{33}] \cdot \Delta t \end{aligned}$$

30

En rappel et en référence avec le schéma synoptique de la figure 3 voici les différentes opérations du lancer de rayons sur une base anisotrope (7) (cette dernière, dans cet exemple, sera composée de coupes présentant une seule anisotropie selon  $z_{ob}$ ) :

35

(8) lancer du rayon dans la base anisotrope,

(9) estimation de la position du point d'intersection du rayon avec le ou les sujets à visualiser dans la base de données,

- (10) interpolation sur le voisinage de ce point estimé,
- (11) détection fine de la surface dans cette zone interpolée,
- (12) ombrage en fonction des paramètres contenus dans cette zone.

5

Le rayon dans la base anisotrope est défini de la manière suivante:

10 L'échantillonnage du repère  $R_{ob}$  n'est plus isotrope. Si  $D$  représente la distance inter-coupes et  $p$  la taille d'un pixel des coupes originales, le rapport de compression (noté  $e$ ) de  $R_{ob}$  selon l'axe  $z_{ob}$  vaut :  $e=D/p$ .

15 Le ré-échantillonnage isotrope, par interpolation de  $e-1$  coupes fictives entre deux coupes originales, définit un nouveau repère appelé  $R_{iso}$ . La transformation entre  $R_{iso}$  et  $R_{ob}$  est soumise à une matrice de mise à l'échelle  $E$ .

$$E = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/e \end{vmatrix}$$

20 Le lancer de rayons, décrit précédemment est effectué du repère  $R_{ec}$  sur  $R_{iso}$ . Les transformations géométriques entre les différents repères sont :

$$\begin{aligned} [x_{iso}, y_{iso}, z_{iso}] &= [R] \cdot [x_{ec}, y_{ec}, z_{ec}] + \vec{T} \\ [x_{ob}, y_{ob}, z_{ob}] &= [E] \cdot [x_{iso}, y_{iso}, z_{iso}] \end{aligned}$$

25

30 L'estimation de la position de l'intersection du rayon avec le ou les sujets à visualiser dans la base de données peut se dérouler ainsi:

Voir figure 4; si pour les plans originaux (13) les rayons (14) touchent bien l'objet (15), pour les plans "intermédiaires" une surface encore inexistante doit être détectée.

35 l'interpolation sur un voisinage volumique est gourmande en temps de calcul. La réduction de ce voisinage impose une estimation de la position de la surface la plus précise possible.

Le module de détection est le suivant : le point d'intersection estimé est un voxel du repère  $R_{iso}$  qui appartient à la trajectoire du



rayon partant de  $(x_{ec}, y_{ec})$  et qui répond à un critère appelé ESTIMATION. C'est-à-dire :

$$P^a(x_{iso}^a, y_{iso}^a, z_{iso}^a) = v_{iso}^a(x_{iso}^a, y_{iso}^a, z_{iso}^a) \in \text{Rayon}(x_{ec}, y_{ec})$$

5

si ESTIMATION( $x_{iso}^a, y_{iso}^a, z_{iso}^a$ )=vrai

$P^a(x, y, z)$  : point de détection approchée de la surface

$v_{iso}(x_{iso}, y_{iso}, z_{iso})$  : voxel de  $R_{iso}$  de position  $(x_{iso}, y_{iso}, z_{iso})$

10 Rayon( $x_{ec}, y_{ec}$ ) : rayon lancé du pixel  $(x_{ec}, y_{ec})$

ESTIMATION( $x, y, z$ ) : module d'estimation de la position de la surface

Plusieurs modèles de la fonction ESTIMATION sont étudiés, qui font intervenir des critères géométriques et les propriétés physiques des structures.

15

- 1<sup>er</sup> modèle

Ce modèle, qui se réfère à la figure 5, est fondée sur la discrétisations originale de la base de données. Un lancer de rayons sur une base anisotrope équivaut, en fait, à un lancer de rayons (16) sur une  
20 base isotrope pour laquelle chaque coupe (17) retrouve son épaisseur originale (18). Tout ce passe comme si dans le repère  $R_{iso}$ , les voxels des plans intermédiaires prenaient la valeur des plans originaux. Nous pouvons donc détecter les voxels (18) de la surface de manière classique c'est-à-dire dès qu'un rayon (16) les pénètrent (19).

25 La condition de détection approchée s'écrit :

ESTIMATION( $x_{iso}^a, y_{iso}^a, z_{iso}^a$ )=vrai

si CONDITION\_D\_INTERSECTION( $x_{ob}^a, y_{ob}^a, z_{ob}^a + 0,5$ )=vrai

avec  $[x_{ob}^a, y_{ob}^a, z_{ob}^a] = [E] \cdot [x_{iso}^a, y_{iso}^a, z_{iso}^a]$

CONDITION\_D\_INTERSECTION est la fonction citée précédemment qui  
30 vérifie si le voxel appartient ou non à l'objet. Le voxel candidat a pour adresse  $x_{ob}^a, y_{ob}^a$  et la partie entière de  $z_{ob}^a + 0,5$ . Cette translation de 0,5 permet de répartir l'épaisseur de part et d'autre de la coupe originale.

35 - 2<sup>ème</sup> modèle

Ce modèle se réfère à la figure 6. Le rayon (20), calculé en nombre réel, est entouré d'autres rayons formés par les coordonnées

entières du rayon initiale. Ces rayons, que nous pouvons appeler rayons auxiliaires, touchent obligatoirement les zones connues de l'objet. Les coordonnées de la position approchée de l'intersection du rayon sont déterminées par interpolation des positions d'intersections des rayons auxiliaires avec l'objet.

5        Seule l'interpolation selon  $z_{ob}$  est déterminante. Les rayons auxiliaires peuvent être réduits au nombre de deux : celui qui se trouve au-dessus ( $z$  entier supérieur) et celui qui se trouve en-dessous ( $z$  entier inférieur).

10        L'estimation se déroule de la façon suivante : les intersections des rayons auxiliaires supérieurs (21) et inférieurs (22) sont recherchées par  $CONDITION\_D'INTERSECTION(x_{ob}, y_{ob}, z_{ob}+1)$  pour le rayon auxiliaire supérieur et par  $CONDITION\_D'INTERSECTION(x_{ob}, y_{ob}, z_{ob})$  pour le rayon auxiliaire inférieur. Le point de la surface estimé est représenté par l'intersection (23) du rayon (20) et de la ligne (24)  
15 définie par les deux points d'intersection trouvés (21) et (22).

- 3<sup>ème</sup> modèle

20        Le premier modèle peut être affiné. Le paramètre physique (densité, ...) associé au point détecté est calculé par interpolation linéaire des valeurs des coupes environnantes. Si cette valeur répond aux conditions d'intersection, ce point est retenu, sinon le rayon est incrémenté.

ESTIMATION( $x^a_{iso}, y^a_{iso}, z^a_{iso}$ )=vrai

25        si  $CONDITION\_D'INTERSECTION(v_{iso}(x^a_{iso}, y^a_{iso}, z^a_{iso}))=vrai$

avec

$v_{iso}(x^a_{iso}, y^a_{iso}, z^a_{iso})=$

30         $((e-d)/e) \cdot v_{ob}(x^a_{ob}, y^a_{ob}, z^a_{ob}) + (d/e) \cdot v_{ob}(x^a_{ob}, y^a_{ob}, z^a_{ob}+1)$

$e$  : rapport de compression

$d$  : distance entre  $v^a_{iso}$  et  $v^{ob}_{iso} \in$  coupes originales selon  $z$

et  $[x^a_{ob}, y^a_{ob}, z^a_{ob}] = [E] \cdot [x^a_{iso}, y^a_{iso}, z^a_{iso}]$

35

Le module de l'interpolation locale est le suivant :

Toutes les techniques d'interpolation à partir de données locales sont utilisables qu'elles soient du premier ordre (interpolation linéaire) ou plus élaborées (fonctions splines, ...). Cette liste n'est pas limitative, la seule restriction est le caractère local de l'interpolation.

La taille et la forme de la zone environnant le point d'intersection estimé et dans laquelle sera menée l'interpolation peut être définie arbitrairement. Différent critères permettent toutefois un ajustement de ces paramètres (cette liste est non limitative) :

- la précision du modèle de détection,
- le rapport  $e$  (si  $e$  est faible -2 ou 3- la position estimée est proche de la surface "réelle"),
- la technique d'interpolation retenue. Il s'avère que les points estimés par l'opérateur de détection sont proches de la surface de l'objet après interpolation linéaire. Si la technique d'interpolation locale est linéaire, la région peut se résumer aux proches voisins (connexes) du voxel détecté. Pour les techniques d'ordre supérieur cette région doit être étendue,
- la direction de vision. La région doit être étendue selon la direction de vision (celle du rayon),
- la méthode de calcul de l'ombrage (des voisins qui y sont nécessaires).

La détection fine de la surface et l'ombrage se déroulent ainsi :

Les différents voxels, issus du module d'interpolation, sont stockés dans une petite base auxiliaire. Le rayon, transposé dans cette base auxiliaire et isotrope, procède de manière classique (recherche de la surface, ombrage -en fonction du gradient de la surface, de l'éloignement de l'écran, des sources de lumières, de la nature de la surface, ...-, ...).

La validation de la méthode a été effectuée sur deux plans :

- l'appréciation subjective des différences entre images par comparaison visuelle,
- l'analyse quantitative des valeurs issues des procédures proposées.

Cette dernière pouvait être réalisée directement dans l'espace 3-D interpolé après détection. La valeur locale des comparaisons et la complexité de mise en oeuvre ont conduit à préférer une comparaison des images projetées sous différents points de vue. La procédure appliquée est la suivante : 1) acquisition de bases de données 3-D anisotrope; 2) interpolation globale et visualisation sous un angle d'incidence particulier; 3) pour le même point de vue, calcul de l'image par interpolation locale sur le rayon; 4) soustraction point par point des images obtenues en (2) et (3) et statistiques sur les différences.

Cette évaluation a été faite pour des nombres de coupes interpolées variables, en utilisant les méthodes de détection décrites précédemment et différents schémas d'interpolation. Les résultats après reparcours local du rayon ne présentant pas de différence significatives, seuls les points de détection approchée ont été utilisés, ce qui a comme intérêt de simplifier la méthode.

Pour l'une des bases de données ayant fait l'objet de test, base de résolution 128 X 128 X 136 voxels (volume isotrope), la suppression d'une coupe sur deux a été effectuée. La base de données, rendue ainsi anisotrope, a été visualisée soit après interpolation globale (linéaire), soit par lancer de rayons avec interpolation locale. La figure 7 nous montre les histogrammes des différences entre l'image originale (base de données isotrope de départ) et les images produites après interpolation globale (25) ou interpolation locale (1<sup>er</sup> modèle de détection (26), 2<sup>ème</sup> (27) et 3<sup>ème</sup> (28)). Elle montre que le 3<sup>ème</sup> modèle de détection donne les meilleurs résultats et que ceux ci sont extrêmement proche de ceux de l'interpolation globale.

Naturellement, la présente invention n'est pas limitée à la description qui vient d'être faite. En particulier elle peut s'appliquer à toute les techniques d'accélération du processus de lancer de rayons. L'avantage de ce procédé est qu'il peut être généralisable ou s'insérer à toute séquence d'opérateurs le long du rayon exploitants les distribution locales des paramètres physiques ou simplement des critères géométriques.

Revendications

1 - Procédé de visualisation tridimensionnelle du contenu d'une  
5 base de données volumique présentant une ou plusieurs anisotropies  
axiales (échantillonnage différent selon les trois axes), selon une  
incidence quelconque, utilisant le principe de lancer de rayons et  
caractérisé en ce qu'il comprend les opérations suivantes :

- définition du rayon (trajectoire) dans la base anisotrope,
- 10 - estimation de la position du point d'intersection du rayon avec le  
ou les sujets à visualiser dans la base de données,
- interpolation sur le voisinage de ce point estimé (le choix de  
l'interpolation est libre, il faut seulement qu'il soit local),
- recherche sur le rayon dans la zone interpolée du point  
15 d'intersection,
- calcul éventuel de la normale en ce point et spécification de la  
valeur au plan image (ombrage).

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la  
20 position du point d'intersection du rayon avec le ou les sujets  
contenus dans la base anisotrope est estimée lorsque le rayon pénètre  
un voxel (anisotrope) de cette base, voxel qui répond aux conditions  
d'intersection souhaitées.

3 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la  
25 position du point d'intersection du rayon avec le ou les sujets  
contenus dans la base anisotrope est estimée par une méthode qui se  
sert du principe suivant : le rayon, calculé en nombre réel, est  
entouré d'autres rayons formés par les coordonnées entières du rayon  
30 initiale, que ces rayons, que nous pouvons appeler rayons auxiliaires,  
touchent obligatoirement les zones connues de l'objet; ainsi les  
coordonnées de la position approchée de l'intersection du rayon sont  
déterminées par interpolation des positions d'intersections des rayons  
auxiliaires avec l'objet.

4 - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la position du point d'intersection du rayon avec le ou les sujets contenus dans la base anisotrope est estimée par une méthode qui se sert du fait que si la base de données ne présente qu'une seule anisotropie axiale seule l'interpolation selon cette direction est déterminante; ainsi les rayons auxiliaires peuvent être réduits au nombre de deux : ceux qui se trouvent de part et d'autre du rayon selon cette direction; l'estimation se déroule le principe suivant : les intersections des deux rayons auxiliaires sont recherchées, le point de la surface estimé est représenté par l'intersection (23) du rayon (20) et de la ligne (24) définie par les deux points d'intersection trouvés (21) et (22).

5 - Procédé selon la revendication 2, selon lequel le paramètre physique associé au point trouvé selon le procédé de la revendication 2 est calculé par interpolation linéaire des valeurs des coupes environnantes; la position du point d'intersection du rayon avec le ou les sujets contenus dans la base anisotrope est estimée si la valeur du paramètre physique répond aux conditions d'intersection.

20

6 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la position estimée de l'intersection entre le rayon et le ou les sujets contenus dans la base de données est considéré comme position exacte de cette intersection.

25

7 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la taille et la forme de la zone environnant le point d'intersection estimé et dans laquelle sera menée l'interpolation sont définies soit arbitrairement soit selon un ou plusieurs critères de la liste suivante :

- 30 - la précision du modèle de détection,
- le ou les rapports caractérisant l'anisotropie,
- la technique d'interpolation retenue,
- la direction de vision,
- la méthode de calcul de l'ombrage (des voisins qui y sont
- 35 nécessaires).

8 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les différents voxels, issus du module d'interpolation, sont stockés dans une petite base auxiliaire temporaire et que le rayon, transposé dans cette base auxiliaire et isotrope, procède de manière classique pour trouver le ou les objets à visualiser et pour spécifier la valeur du plan image (ombrage).

5

## PLANCHE 1/7

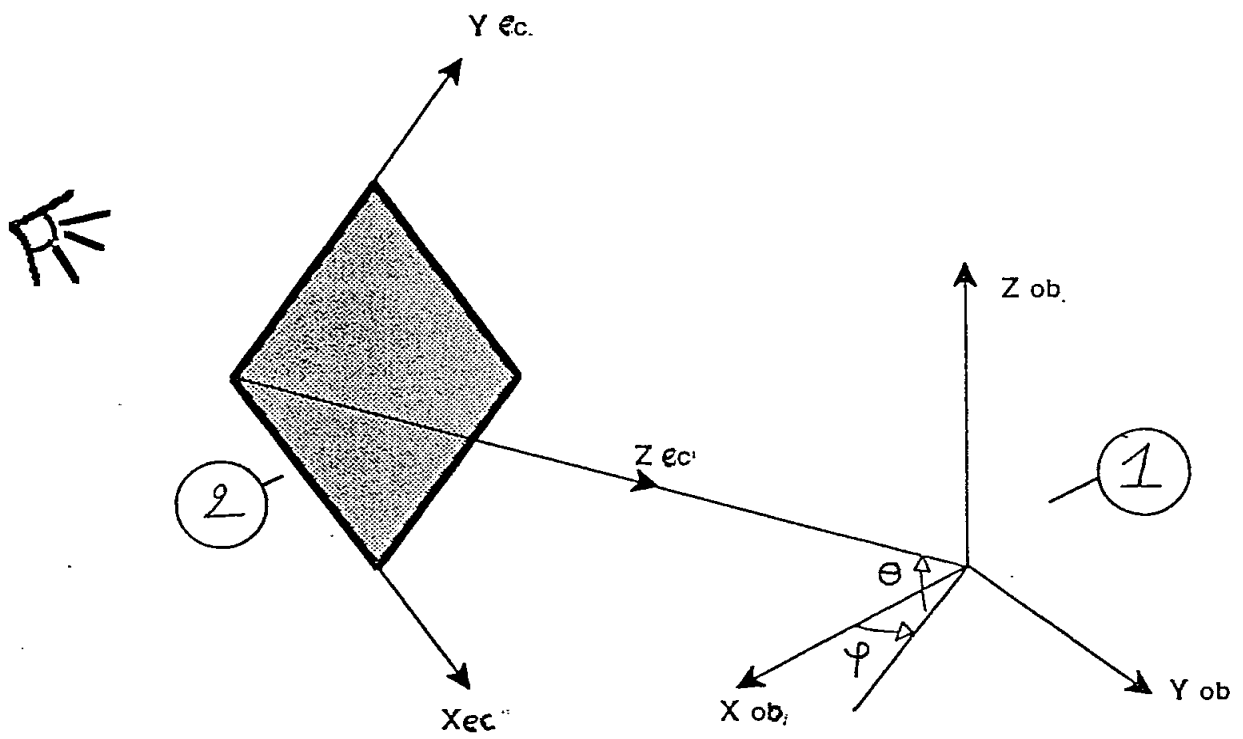


Figure 1



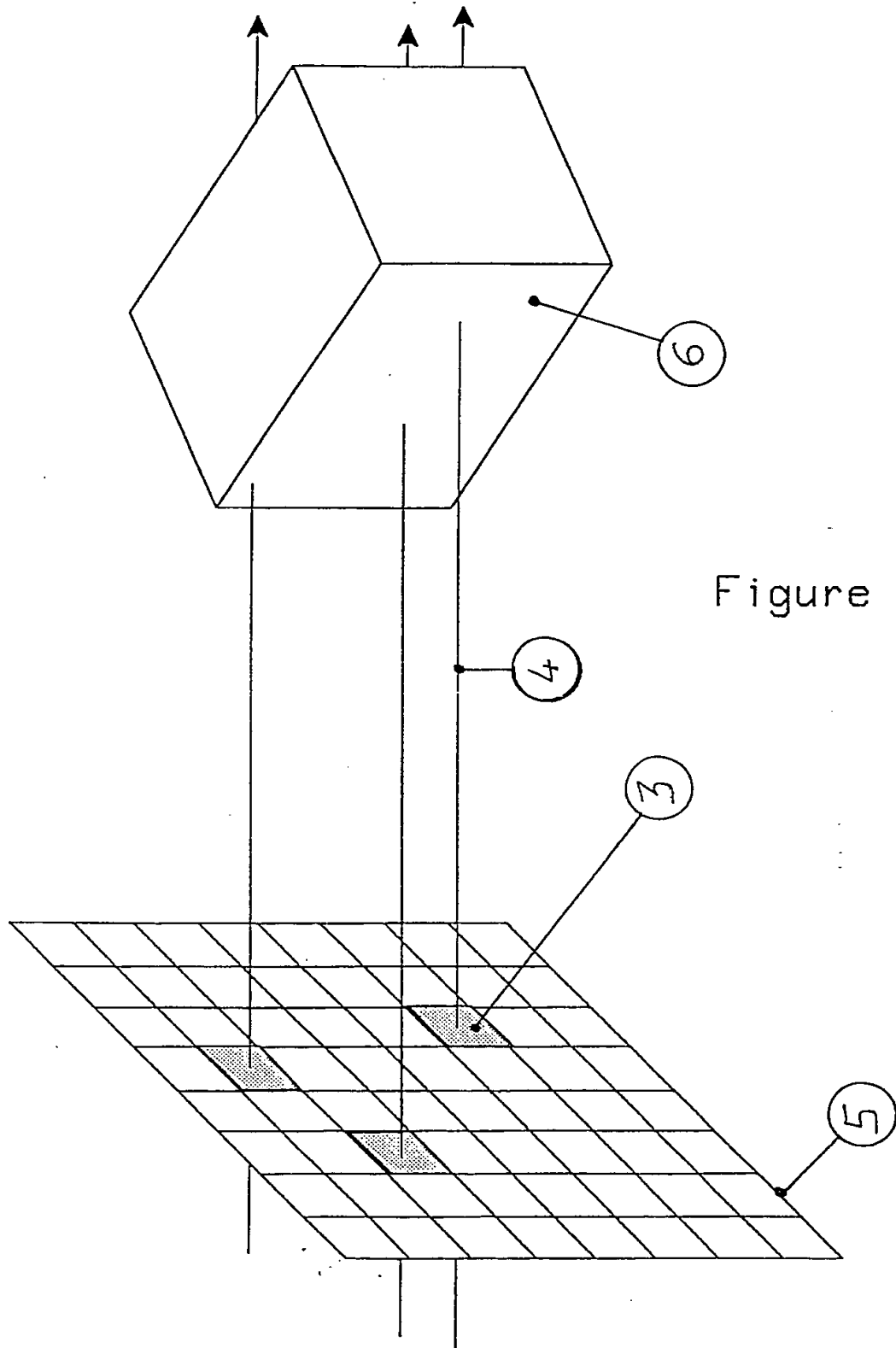


Figure 2

## PLANCHE 3/7

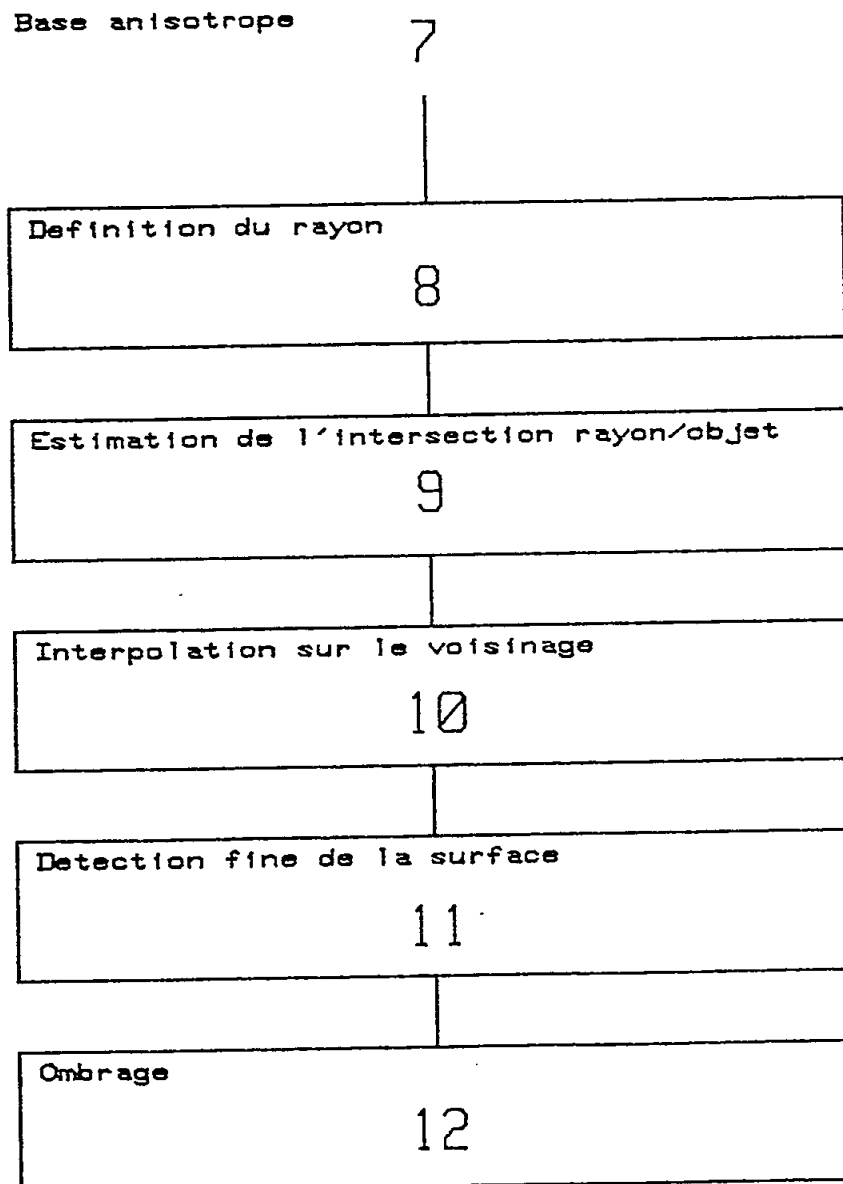


Figure 3

## PLANCHE 4/7

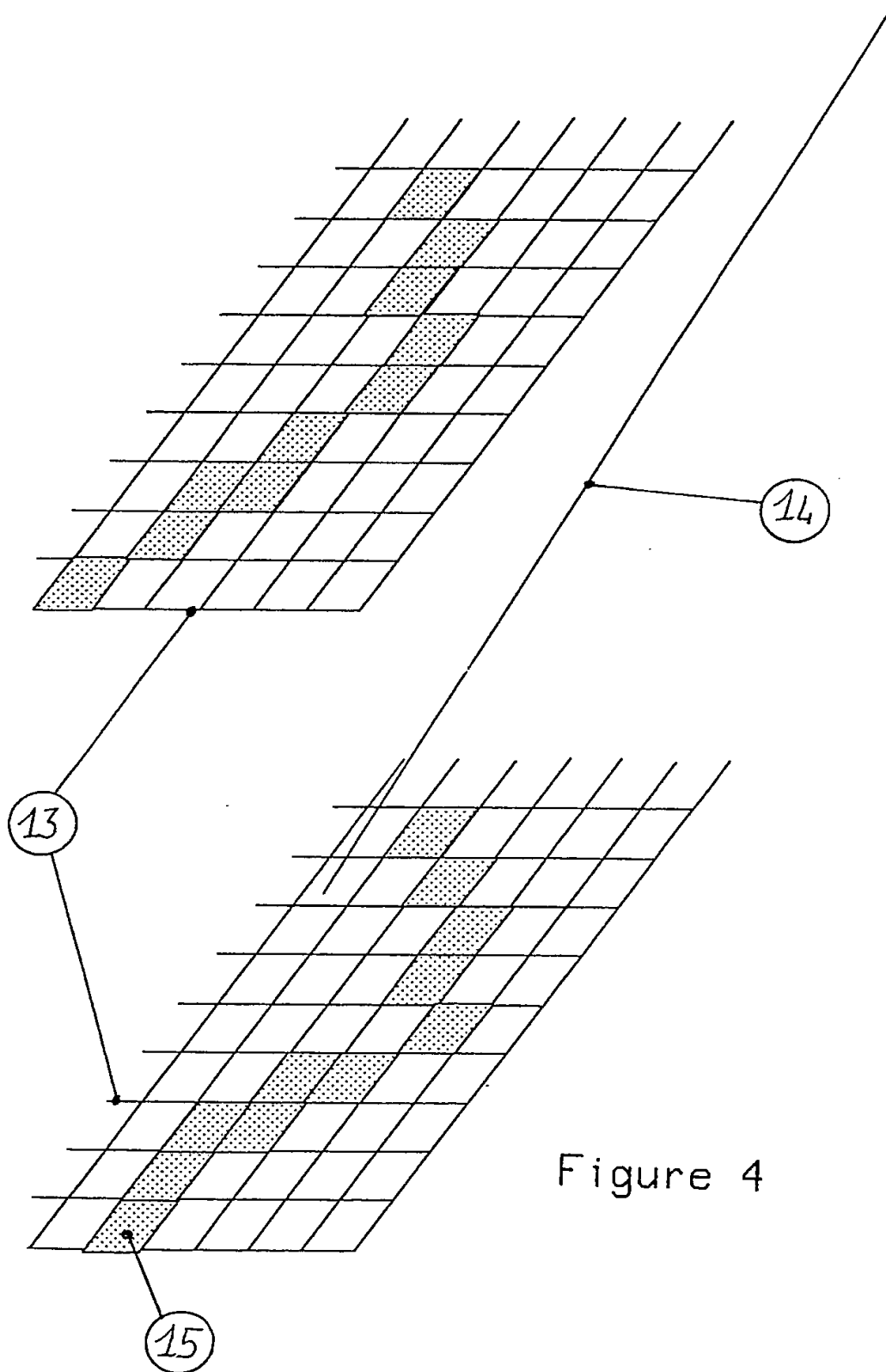


Figure 4

## PLANCHE 5/7

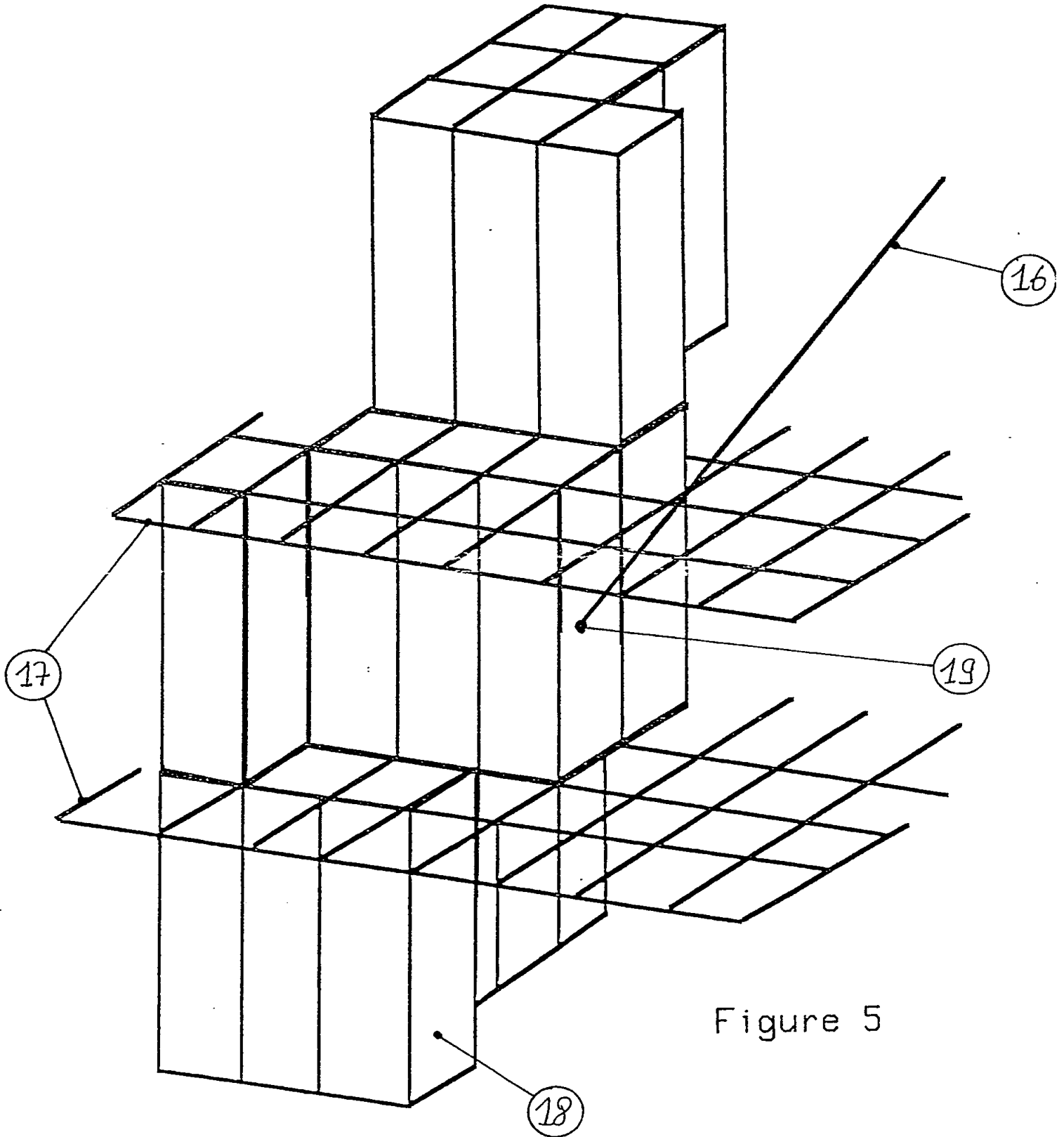


Figure 5

## PLANCHE 6/7

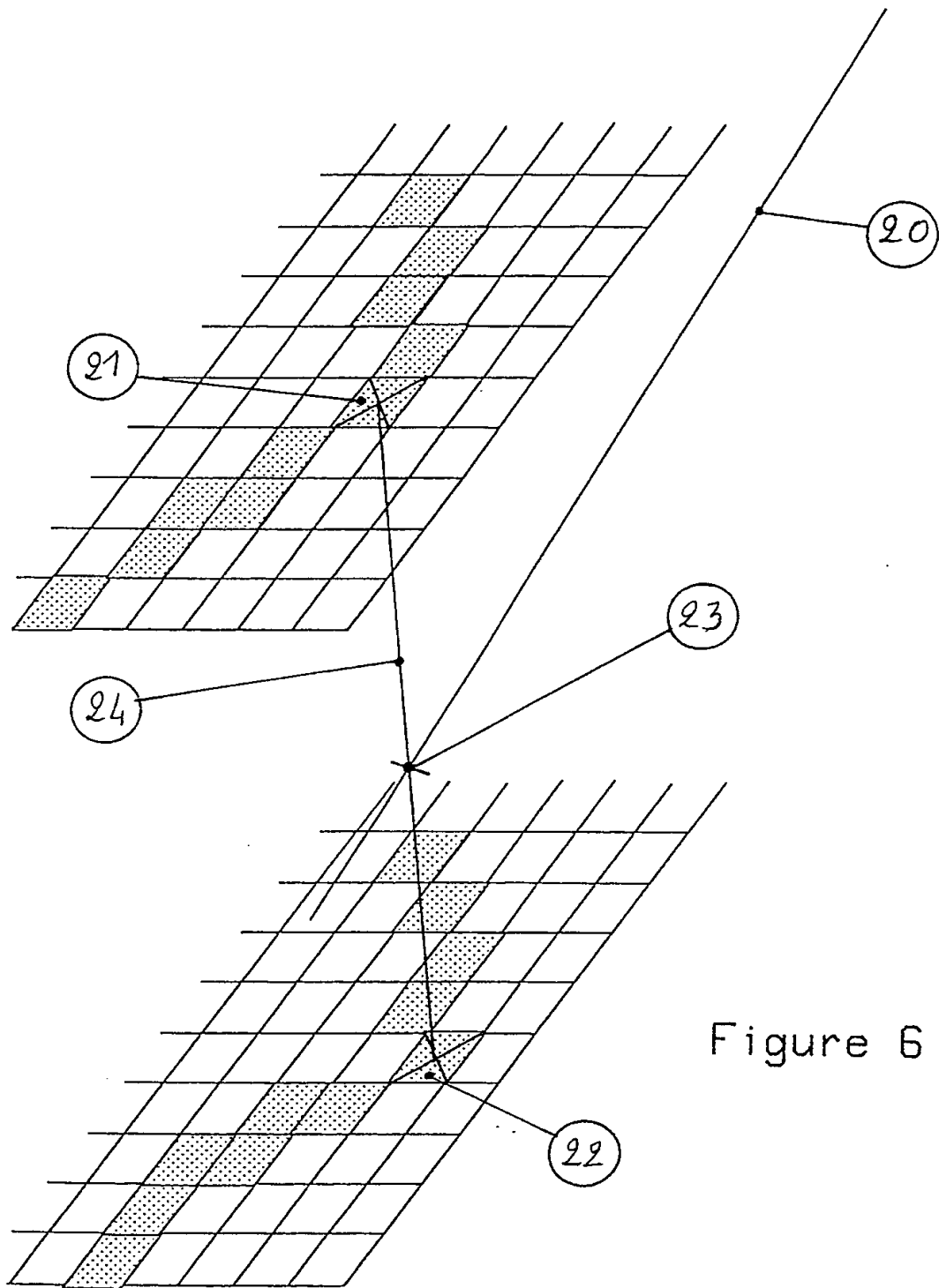


Figure 6

## PLANCHE 7/7

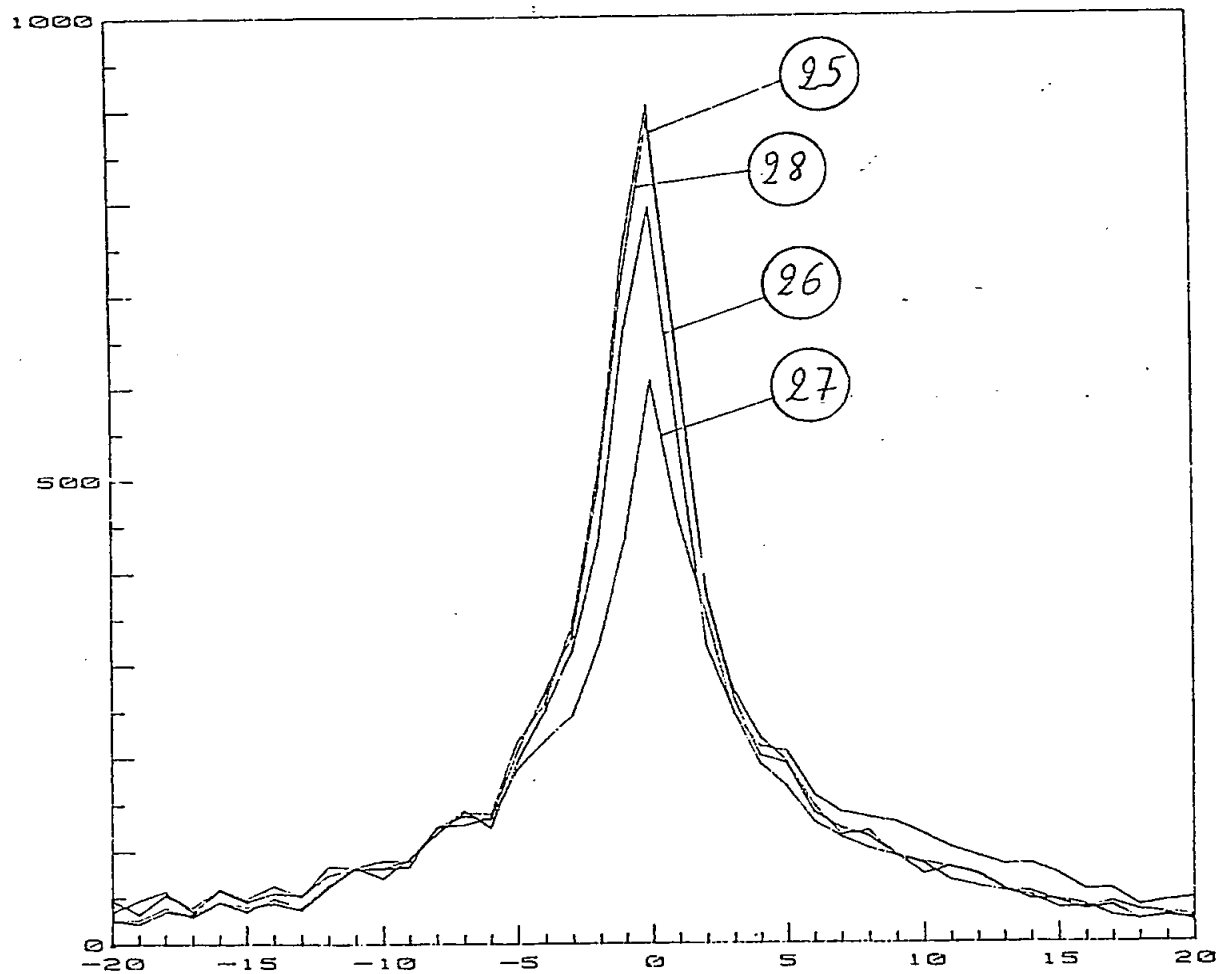


Figure 7

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FR 9006683  
FA 443938

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	SYSTEMS & COMPUTERS IN JAPAN, vol. 18, no. 11, novembre 1987, pages 31-39, Silver Spring, MD, US; TAKAAKI AKIMOTO et al.: "Pixel-selected ray-tracing" * Page 41, colonne 1, lignes 7-10; page 41, colonne 2, lignes 10-13, 21-24; page 42, colonne 1, lignes 1-4, 19-22, 26-28, 35-36; page 43, colonne 1, lignes 23-28; page 43, colonne 2, lignes 51-54; page 44, colonne 1, lignes 1-2, 18-19; page 44, colonne 1, ligne 26; page 45, colonne 1, lignes 18-24; page 47, colonne 2, lignes 19-24 *	1-7
A	EP-A-0 362 123 (B.T. LEE) * Colonne 1, lignes 29-40; colonne 1, ligne 47 - colonne 2, ligne 2; colonne 2, lignes 40-52 * -----	1-2, 7-8
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G 06 F 15/72
Date d'achèvement de la recherche 05-02-1991		Examineur BARBA M.
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b> X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**